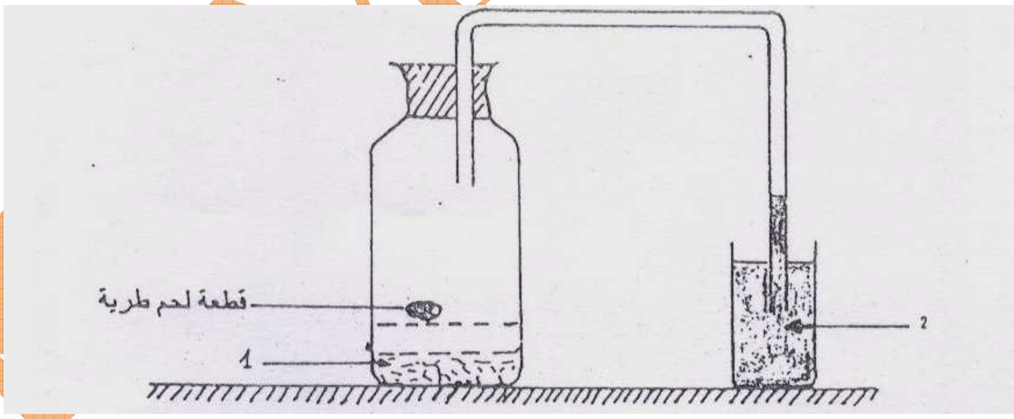
استهلاك المادة العضوية لإنتاج الطاقة

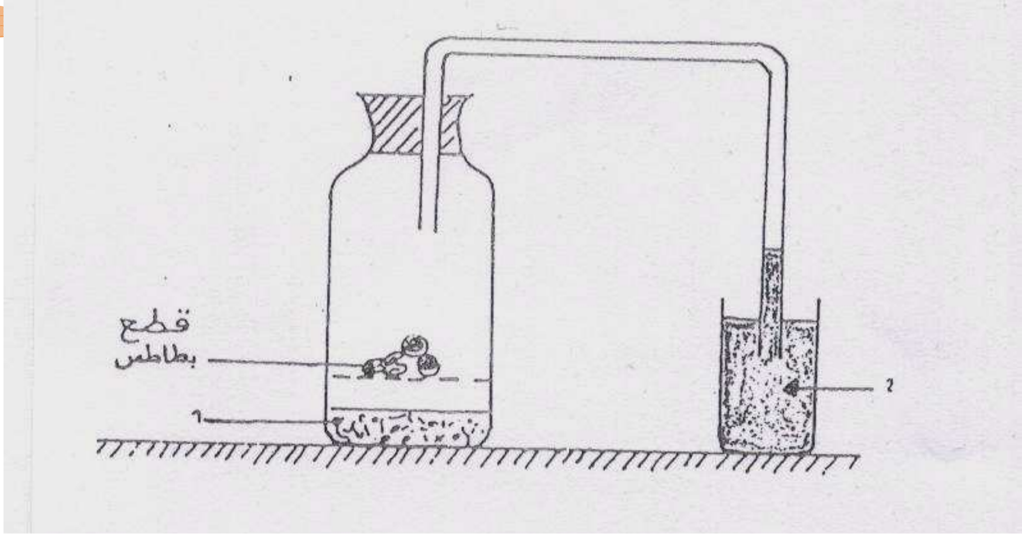
يقوم المنتج أي النباتات اليخضورية بوظيفة التركيب الضوئي المنتجة للمادة العضوية بمختلف أنواعها دهون ، بروتيدات و سكريات خاصة النشا ، و عبر السلاسل الغذائية يحصل المستهلكون على هذه المادة العضوية التي يقتاتون عليها ، بعض هضمها على طول الأنبوب الهضمي تتحول كل المادة العضوية المركبة من بروتينات و دهون و سكريات إلى مادة عضوية بسيطة أو قيت في مستوى المعي الدقيق ، و يتكون من الأحماض الآمينية الغليسرول ، الأحماض الدهنية و الغليكوز .
في مستوى المعي الدقيق تتم عملية الامتصاص ، فينتقل القيت إلى الدم و يوزع رفقة ثنائي أوكسجين التنفس على جميع أعضاء الجسم المكونة من خلايا لتستفيد منه.
فيم تستعمل الخلايا مواد القيت و الأوكسجين ؟
ماذا ينتج عن استهلاك مواد القيت و الأوكسجين ؟

1- الكشف عن التنفس الخلوى :

أ- تجارب :



1- ماء الجير
2- سائل ملون



ب-نتائج :

مع الأنسجة الطرية النباتية أو الحيوانية يتعكر ماء الجير و يصعد السائل الملون في الأنبوب U

ت-استنتاج :

يدل تعكر ماء الجير على طرح ثنائي أوكسيد الكربون ، و يدل صعود الماء الملون على استهلاك الهواء خاصة ثنائي الأوكسجين ، يسمى هذا التبادل الغازي بالتنفس .
الأنسجة الطرية المستعملة هي عبارة عن خلايا حية نباتية أو حيوانية ، فالخلايا إذا هي التي تستهلك ثنائي الأوكسجين و تطرح ثنائي أوكسيد الكربون ، تسمى هذه الظاهرة بالتنفس الخلوي .

2- تأثير الظروف الهوائية على بنية الخلية :

أ- ملاحظة :

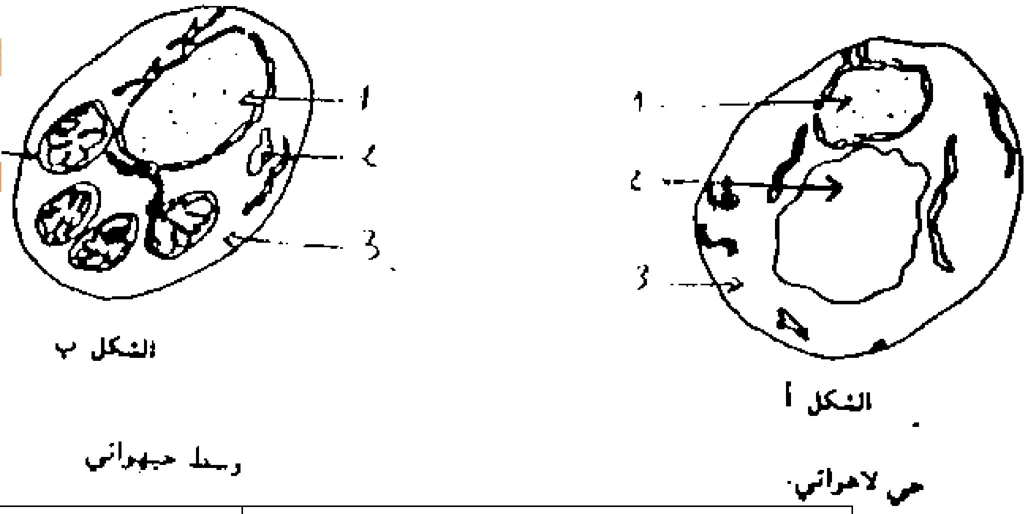
تستطيع بعض الأنواع من الكائنات الحية العيش في ظروف هوائية أي في حضور ثنائي الأوكسجين فتنجز وظيفة التنفس أو في ظروف لا هوائية أي في غياب ثنائي الأوكسجين فتقوم بوظيفة التخمر ، من هذه الأنواع نذكر فطر الخميرة .

ب-تجربة :
نزرع الخميرة في محلول غليكوز و نوزعها على وسطين أحدهما حيهوائي غني بثنائي الأوكسجين و الثاني حي لاهوائي ينعدم فيه الأوكسجين . و بعد مدة نلاحظ فوق بنية الخميرة في الوسطين .

ت-نتيجة :

ميتكندري

1- نواة 2- فجوة
3- سيتوبلازم



ظروف لاهوائية	ظروف هوائية
نواة غير متضخمة فجوة ضخمة غياب الميتوكندري	تضخم النواة فجوة متراجعة ظهور عضيات بعدد كبير : الميتكندريات

m' AMMAR

ث-استنتاج :

حضور أو غياب ثنائي الأوكسجين في الوسط ، يؤثر على فوق بنية الخلية ، حضور O_2 يؤدي إلى تكاثر عضي الميتكندري ، أما غياب O_2 فيؤدي إلى غياب هذا العضي .

<u>3- مصير المادة العضوية المستهلكة :</u>

أ- تجربة :

نزرع خلايا حيهوائية في وسط غني ب O_2 و يحتوي على غليكوز مشع ب C^{14}، مكنت ملاحظة عينات من هذه الخلايا في فترات متتالية من الكشف عن عدة مواد مشعة وفي عدة مستويات من الخلية :

ب-نتيجة :

الزمن	الوسط الخارجي للخلية	الوسط الداخلي للخلية: الجبلة الشفافة	الوسط الداخلي للخلية: الميتكندري
t_0	$G^{+++++++}$		
t_1	G^{++}	G^{+++++}	
t_2		P^{++++}	P^{+++}
t_3	CO_2^{+++}		P^{+++} و K^{+}
t_4	CO_2^{+++}		K^{+++}

++++++ : كمية كبيرة جدا من المواد المشعة   + : كمية ضعيفة من المواد المشعة

G : غليكوز   P : حمض البيروفيك   K : أحماض عضوية لحلقة كريبس

ت- استنتاج :

ينتشر الغليكوز من الوسط الخارجي نحو الوسط الداخلي للخلية ، و يتم استهلاكه عبر مرحلتين ، و في مستويين من السيتوبلازم :

+ في الجبلة الشفافة يتحول الغليكوز إلى حمض البيروفيك عبر سلسلة من التفاعلات يطلق عليها انحلال الغليكوز

+ داخل الميتكندري يتحول حمض البيروفيك إلى CO_2 مرورا بأحماض حلقة كريبس

ت-ملحوظة :

يتم الاستهلاك الكامل للغليكوز عبر هاتين المرحلتين أثناء التنفس أي في حضور O_2 و الميتكندريات ، أما في التخمر أي في غياب O_2 و الميتكندريات فاستهلاك الغليكوز يكون غير كاملا و يتم الانحلال فقط في الجبلة الشفافة .

<u>4- انحلال الغليكوز في الجبلة الشفافة :</u>

تتم هذه العملية بفضل عدد من الأنزيمات و عبر سلسلة من التفاعلات ، بعض هذه التفاعلات تستهلك الطاقة أي ATP و البعض الآخر ينتجها :

m.KAMMAH

غليكوز C_6

ATP ← ADP

غليكوز فوسفاط C_6P

ATP ← ADP

فركتوز ثنائي الفوسفاط C_6

↓

2 فوسفوغليسرالدييد $C_3 X 2$

$2\ NAD^+$ ← $2\ NADH_2$

$2\ P_i$

2 حمض ثنائي فوسفوغليسريك $C_3 X 2$

ADP 2 ← ATP 2

ADP2 ← ATP 2

2 حمض البيروفيك $C_3 X 2$

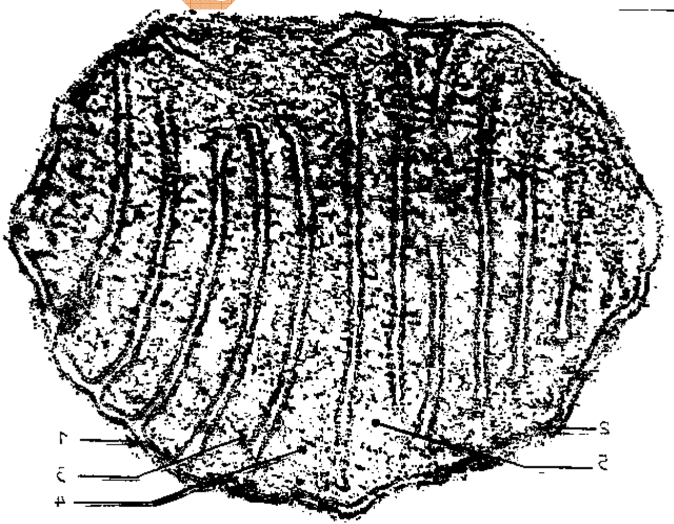
الحصيلة : كل جزيئة غليكوز تستهلك 2 ATP و تنتج 4 ATP + $2\ NADH_2$
تستفيد الخلية إذا من 2 ATP و $2\ NADH_2$ ، و بذلك يكون التفاعل النهائي لانحلال الغليكوز في الجبلة الشفافة هو :

غليكوز + 2 ADP + $2\ P_i$ + $2\ NAD^+$ ⟵ 2 ATP + $2\ NADH_2$ + 2 حمض البيروفيك

حمض البيروفيك الناتج ينتقل في الظروف الهوائية إلى داخل الميتكندري .

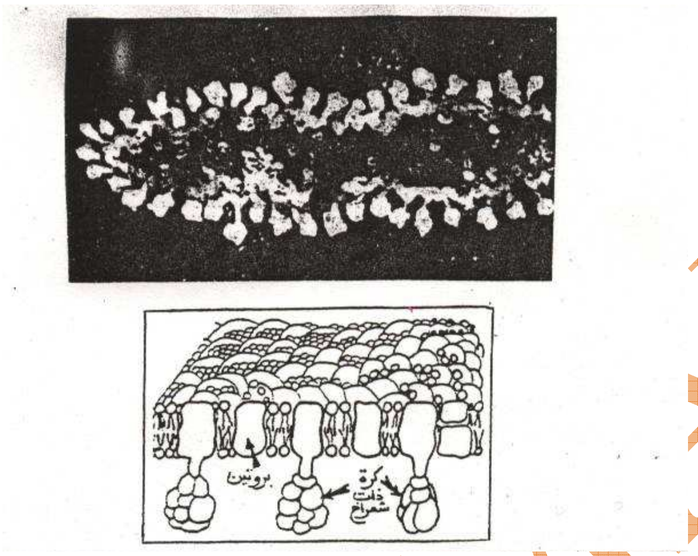
5- الميتكندري و التفسفر الأوكسيدي :

أ- فوق بنية الميتكندري:
الغشاء الخارجي شبيه من حيث التكوين الكيميائي بالغشاء السيتوبلازمي للخلية ، أما الغشاء الداخلي فهو غني بالبروتينات و تمثل 80 % منه .



m.KAMMAH

1- غشاء خارجي 2- غشاء داخلي
3- عرف 4- جسم ريبي
5- ماتريس



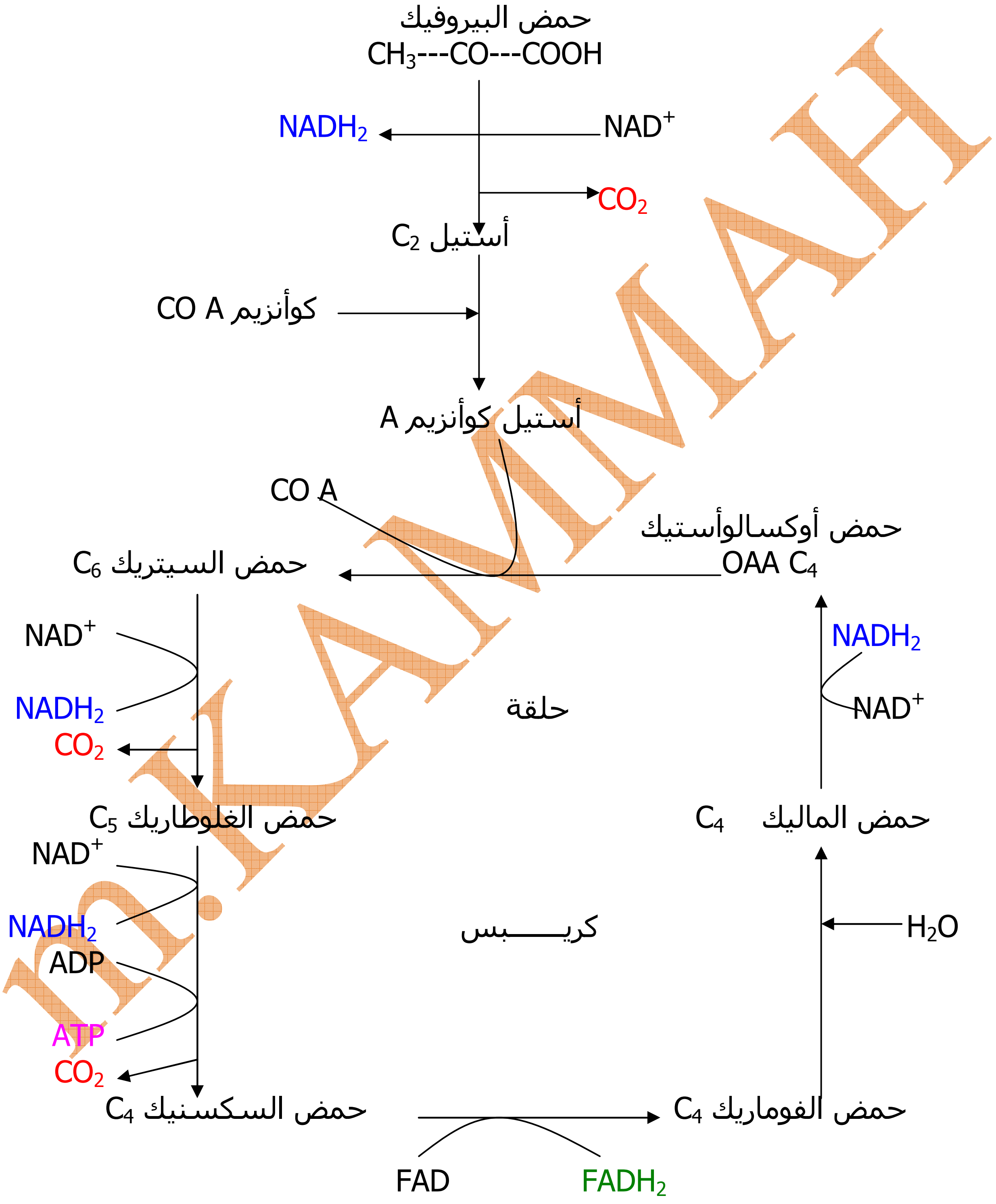
فوق بنية الغشاء الداخلي

أغلب هذه البروتينات هي عبارة عن أنزيمات تركيب ATP أو ATP سنتتاز تظهر في الغشاء الداخلي على شكل كريات ذات شمراخ .
أما في الماتريس فنجد أنزيمات مزيلات الكربون و أنزيمات مزيلات الهيدروجين، كما يحمل الغشاء الداخلي عدة سلاسل من ناقلات الإلكترونات e^- و البروتونات H^+ .

ب-حمض البيروفيك في الماتريس :

في هذا المستوى يخضع حمض البيروفيك لإزالة الكربون من طرف أنزيمات مزيلات الكربون décarboxylase التي تنتزع منه CO_2 ولإزالة الهيدروجين من طرف مزيلات الهيدروجين déshydrogénase التي تنتزع منه e^- و H^+ و تلتقطها الناقلة NAD^+ ، فتتحول إلى $NADH_2$ ، و ذلك عبر سلسلة من التفاعلات التي تكون حلقة كريبس :

m.KAMMAH



حمض البيروفيك
CH3---CO---COOH
NADH2
NAD+
CO2
أستيل C2
كوأنزيم CO A
أستيل كوأنزيم A
CO A
حمض أوكسالوأستيك
OAA C4
حمض السيتريك C6
NAD+
NADH2
CO2
حلقة
NADH2
NAD+
حمض الغلوطاريك C5
حمض الماليك C4
NAD+
NADH2
ADP
ATP
CO2
كريـــــبس
H2O
حمض السكسنيك C4
حمض الفوماريك C4
FAD
FADH2

m.KAMMAH

تتلقى الماتريس حمض البيروفيك C_3 و يخرج منها 3 جزيئات من CO_2 و يبقى في الماتريس انطلاقا من حمض بيروفيك واحد : 1 ATP + 1 $FADH_2$ + 4 $NADH_2$.

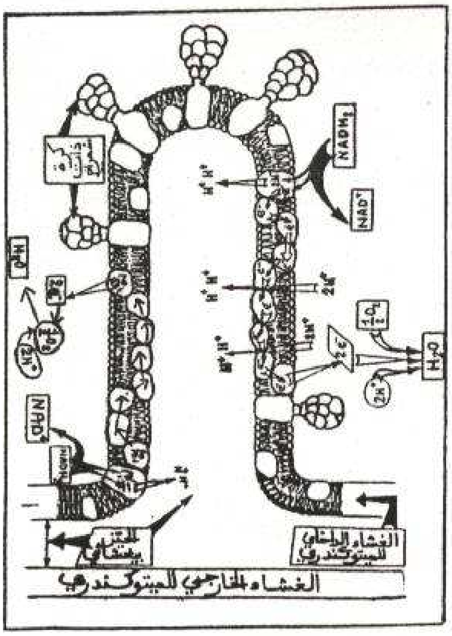
ت – مصير ناقلات e^- و H^+ :

تسلم $FADH_2$ و $NADH_2$ الإلكترونات و البروتونات التي تحملها إلى سلسلة من الناقلات المتواجدة في الغشاء الداخلي للمتكندري و التي تكون السلسلة التنفسية ، تنتقل

الإلكترونات عبر عناصر السلسلة التنفسية حتى المستقبل الأخير ، في حين تتراكم البروتونات H^+ في الحيز البيغشائي .

عند نهاية السلسلة التنفسية يتواجد المستقبل الأخير للإلكترونات و هو أوكسجين الشهيق ، الذي يتلقى 2 e^- من السلسلة التنفسية و 2 H^+ من الماتريس و يتحول إلى ماء داخل الماتريس حسب التفاعل التالي :

$$\frac{1}{2} O_2 + 2e^- + 2H^+ \longrightarrow H_2O$$



ت-إنتاج الطاقة :

m.KAMMAH

تراكم H^+ في الحيز البيغشائي يجعل pH الحيز أكثر حمضية من pH الماتريس فيظهر ممال لتركيز H^+ ، تستغل الكريات ذات شمراخ هذه الظروف فتنقل H^+ من الحيز البيغشائي نحو الماتريس مختزنة الطاقة الدافعة له في جزيئه ATP حسب التفاعل التالي :

$$P + ADP \longrightarrow ATP$$

تسمى هذه العملية بالتفسفر الأوكسيدي

يمكن انتقال الإلكترونات والبروتونات المسلمة من طرف $NADH_2$ عبر السلسلة التنفسية من تحرير طاقة كافية لتركيب 3 من ATP ، في حين تلك المسلمة من طرف $FADH_2$ لا تعطي سوى طاقة كافية لتركيب 2 من ATP .

6- المردودية الطاقية للتنفس :

انطلاقا من غليكوز واحد نحصل على :

يعطي انحلال الغليكوز في الجبلة الشفافة : 2 ATP + 2 $NADH_2$

داخل الميتكندري :

2 حمض البيروفيك يعطي : 2 ATP + 8 $NADH_2$ + 2 $FADH_2$

الحاصل 4 ATP + 10 $NADH_2$ + 2 $FADH_2$

في السلسلة التنفسية 30 ATP   4 ATP

-

الحصيلة الطاقية لكل غليكوز هي 38 ATP

ملحوظة :

يعتبر الغليكوز هو المصدر الرئيسي للطاقة الخلوية، في غيابه يمكن للخلية أن تلجأ إلى باقي أنواع المادة العضوية من دهون تحولها إلى أستيل CO A تدخل في حلقة كريبس و من أحماض آمينية تحولها إلى حمض البيروفيك يدخل إلى حلقة كريبس . و ص

7- إنتاج الطاقة في غياب الأوكسجين : التخمر

أ- ملاحظة :

m.KAMMAH

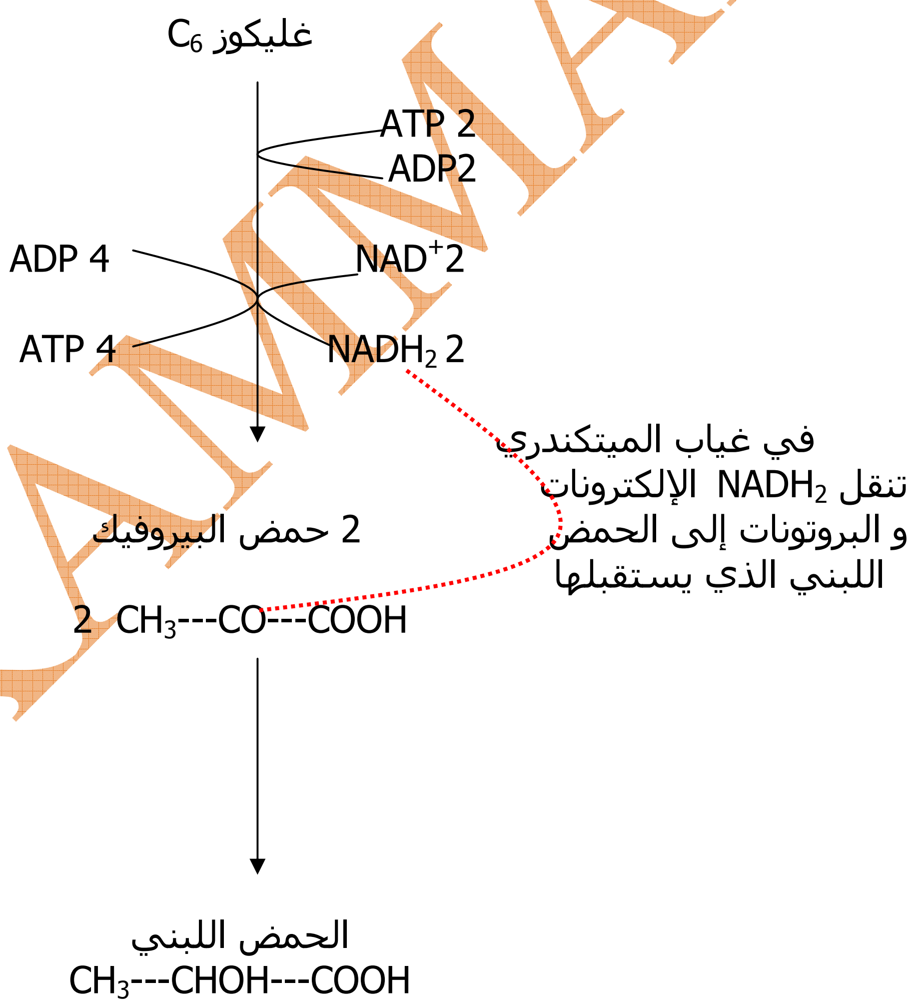
عندما نترك الحليب لعدة ساعات نلاحظ تخثره و زيادة عدد البكتيريا به ، و إذا طالت المدة يصبح حمضيا نتيجة تراكم الحمض اللبني .

ب- تحليل

يعيش في الحليب و بصورة طبيعية بكتريا غير ممرضة تسمى البكتريا اللبنية ، تحتاج هذه الكائنات إلى الطاقة لضمان نموها و تكاثرها ، هذه البكتيريا لا تمتلك ميتكندريات و تستعمل لاكتوز الحليب كمصر لإنتاج الطاقة بعد حلمأته :

لاكتوز ⟵ غليكوز + غلكتوز

ينتقل الغليكوز إلى سيتوبلازم البكتيريا فيخضع للانحلال :



ت- استنتاج :

يؤدي هذا النشاط إلى استهلاك الغليكوز ، و إلى إنتاج الحمض اللبني وتستفيد البكتريا من 2 ATP ، يسمى هذا النشاط بالتخمر اللبني ، و يتمخلاله الاستهلاك الغير كامل للغليكوز حسب التفاعل التالي :

غليكوز ⟵ 2 حمض لبني + 2 ATP

m.KAMMAH

$2\ C_3H_6O_3 \leftarrow C_6H_{12}O_6$

ث- ملحوظة :

بالإضافة إلى التخمر اللبني نجد التخمر الكحولي الذي تقوم به بعض الأنواع من الفطريات المجهرية كالخميرة ، هذا التخمر يطرح CO_2 و ينتج الكحول الإيتيلي و ذلك حسب التفاعل التالي :

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\ CH_3\text{---}CO\text{---}COOH \xrightarrow{-2CO_2} CH_3\text{---}COH \xrightarrow{2\ NADH_2 \rightarrow 2\ NAD^+} CH_3\text{---}CH_2OH$$

حمض البيروفيك ← إزالة كربون ← أسطالدييد ← إيتانول

ج- مقارنة الحصيلة الطاقية للتنفس و للتخمر :

في التنفس يعطي غليكوز واحد 38 ATP و يخضع للأكسدة الكاملة أما في التخمر فالأكسدة غير كاملة و لا يعطي الغليكوز سوى 2 ATP .

تمثل جزيئة الغليكوز مدخرا طاقيا يقدر ب 2840 Kj ، في حين لا تمثل جزيئة ATP سوى مدخرا طاقيا قيمته 30.5 Kj :

المردودية الطاقية للتنفس $= \dfrac{30.5 \times 38}{2840} \times 100 = 41\ \%$

المردودية الطاقية للتخمر $= \dfrac{30.5 \times 2}{2840} \times 100 = 2.1\ \%$

m.KAMMAH